

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

“十三五”规划教材

机电控制 技术导论

Introduction to Electromechanical Control Technology

付庄 张波 贡亮 © 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
普通高等教育“十三五”规划教材

机电控制技术导论

付 庄 张 波 贡 亮 编著



机械工业出版社

本书从电气工程、机械工程的需要出发,理论结合实际,文字简练,图表丰富,例子实用。本书共有十章,主要包括:绪论、继电器接触器电路、PLC、计算机数字系统、单片机原理及应用、机电控制系统设计、DSP、ARM 与 FPGA、机电控制实例和现场总线技术与应用,涵盖了 PCC 控制技术、实时网络通信技术、机器人定位实例、履带式移动机器人、麦克纳姆轮全方位移动平台和物联网的机电系统设计实例等。

本书可作为高等院校机电技术相关专业的教学参考书,也可作为从事电气工程、机械工程自动化设计的专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制技术导论/付庄,张波,贡亮编著. —北京:机械工业出版社,2017.6

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-57419-4

I. ①机… II. ①付… ②张… ③贡… III. ①机电一体化—控制系统—高等学校—教材
IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 167677 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王 康 责任编辑:王 康 刘丽敏

责任校对:肖 琳 封面设计:张 静

责任印制:孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.25 印张·499 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-57419-4

定价:49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网:www.golden-book.com

前言

随着劳动力成本的提高,机器人领域已经成为我国最具发展潜力的行业之一。与该行业相关的国家或行业政策越来越多,例如国家战略新兴产业的高端装备制造“机器换人”政策等。国家每年都有相关的基金支持这方面的科学研究工作,例如 863 计划和国家自然科学基金等。《机器人产业“十三五”发展规划》和“中国制造 2025”描绘了中国机器人产业的发展蓝图,因此迫切需要这方面的教材,以培养相关的技术人才。

在“NSFC-广东联合基金(U1401240)”的支持下,结合广大读者对机电控制技术的需求,作者在多年教学科研工作的基础上编著了本书。《机电控制技术导论》面向机械自动化领域,是机械电子行业培养专业技术人才的参考书。

本书涵盖了国际工业界最新的 PCC (Programmable Computer Controller, 即可编程计算机控制器) 控制技术;涵盖了工业以太网 POWERLINK、EtherCAT 等实时网络通信技术;给出了机器人定位系统实例;给出了 TMS320LF2812 DSP 的软硬件设计方法和实例;介绍了 ARM 和 FGPA 的机电控制设计方法和实例;介绍了国际最新的 Xilinx Zynq 嵌入式 SoC 设计工具,介绍了 Zynq 开发套件;结合作者的研究背景,编著了履带式移动机器人、麦克纳姆轮全方位移动平台和物联网的机电系统设计实例等。

本书可作为机电工程学院、电气工程及自动化学院或能源科学与工程学院的机械电子工程、机械设计制造及其自动化、电气自动化等专业专科生、本科生或研究生的教材(包括机械工程大平台和动力工程大平台下的所有专业的本科生),例如针对上海交通大学机械与动力工程学院来说,具体的课程包括:“单片机系统设计”“机电系统设计与实践”“机械电子学”等。本书的编写深入浅出,用简单的语言把复杂的问题阐述清楚,以适合研究生、本科生、专科生等不同层次的读者。现阶段国内机器人技术人才短缺,而《机电控制技术导论》恰恰是机器人技术人才培养的重要教材之一,几乎全国所有的大专院校都有这方面的需求。除了专业的理论知识外,本书每章还有部分习题,用于巩固学习的知识,增强学习的效果。教材加入了许多现代机电控制知识,一定也会得到行业内广大读者群的关注。

付庄撰写了第 1、3、4、5、6、10 章,付庄、张波共同撰写了第 2、7、8 章,付庄、贡亮共同撰写了第 9 章,实验室的研究生对本书的部分章节进行了整理和校对工作,在此表示真挚的感谢。在本书的撰写过程中,参考了众多专家学者的专著或论文,特别是引用了王显正、黎明柱、刘利等老师编写的《机电控制技术》教材的部分内容,对本书的成稿起了非常重要的作用,在此对这些专家学者和老师表示衷心的感谢和崇高的敬意。感谢唐静君等老师在课程实验上给予的贡献,对于其他所有相关的老师在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,本书难免会有错误或不足之处,衷心希望广大读者能将问题及时反馈给我们,我们将在后续的版本中进行改进和完善。

编著者

目 录

前 言

第1章 绪论	1
1.1 背景简介	1
1.2 什么是机电控制技术	2
1.3 机电系统设计流程	4
1.4 机电系统设计举例	5
1.5 机电系统所涵盖的技术	5
1.6 本书目的	6
1.7 本章小结	7
参考文献	7
习题	7
第2章 继电器接触器电路	8
2.1 常用低压电器	8
2.1.1 开关保护电器	8
2.1.2 主令电器	9
2.2 电气原理图的绘制	18
2.2.1 电气控制系统图中的图形符号和文字符号	18
2.2.2 电气原理图	19
2.2.3 电气元件布置图	20
2.2.4 电气安装接线图	21
2.3 继电器接触器基本控制电路	22
2.3.1 起动、自锁与停止控制电路	22
2.3.2 连续工作与点动控制	22
2.3.3 多点控制	23
2.3.4 联锁控制	23
2.3.5 顺序起动控制	24
2.4 异步电动机的控制	25
2.4.1 三相异步电动机工作原理	25
2.4.2 异步电动机的起动电路	25
2.4.3 异步电动机的正反转控制电路	27
2.4.4 异步电动机的制动电路	29
2.4.5 双速异步电动机的调速控制	31

2.5 交流电动机的调速	33
2.5.1 异步电动机的调速	33
2.5.2 同步电动机的调速	36
2.6 继电器接触器控制电路的设计	38
2.6.1 设计方法和步骤	38
2.6.2 执行机构的选择	38
2.6.3 电气原理图设计的注意事项	39
2.6.4 设计举例	40
2.7 本章小结	40
参考文献	40
习题	41
第3章 可编程序控制器	43
3.1 PLC 简介	43
3.2 PLC 的结构和工作原理	43
3.2.1 基本结构	43
3.2.2 各组成部分的功能	44
3.2.3 可编程序控制器的基本工作原理	49
3.2.4 可编程序控制器的分类	52
3.2.5 PLC 与继电器接触器控制系统及计算机的区别	53
3.2.6 可编程序控制器 FX 与 S7-200 概述	54
3.3 FX 系列编程元件及基本编程语言	54
3.3.1 F 系列 PLC 中常用的编程器件与编程语言	54
3.3.2 基本逻辑指令	60
3.3.3 梯形图绘制的基本规则	62
3.3.4 顺序步进指令和编程	63
3.3.5 PLC 控制系统设计方法	65
3.4 S7-200 编程元件及基本编程指令	66
3.4.1 S7-200 的编程元件	66
3.4.2 S7-200 的基本编程指令	70
3.4.3 程序举例	73
3.4.4 SIMATIC 工业软件	77
3.5 LM 系列 PLC	78
3.5.1 LM 系列 PLC 概述	78
3.5.2 硬件扩展	78
3.5.3 通信功能	78
3.5.4 编程软件介绍	79
3.6 可编程计算机控制器	79
3.6.1 PCC 特点及其优势	79
3.6.2 Automation Studio 编程软件应用实例	81

3.7 PLC 系统网络与通信	88
3.7.1 PROFIBUS-FMS	89
3.7.2 PROFIBUS-DP	89
3.7.3 PROFIBUS-PA	90
3.8 本章小结	90
参考文献	90
习题	91
第4章 计算机数字系统	93
4.1 数字编码系统	93
4.1.1 数制与编码	93
4.1.2 二进制运算	94
4.1.3 浮点数	96
4.1.4 格雷码	97
4.2 布尔代数	97
4.3 触发器	98
4.3.1 RS 触发器	98
4.3.2 D 触发器	98
4.3.3 JK 触发器	99
4.3.4 T 触发器	99
4.4 寄存器	99
4.4.1 基本寄存器	100
4.4.2 移位寄存器	100
4.4.3 计数器	101
4.4.4 三态门(三态缓冲器)	102
4.5 常用数据锁存/缓冲/驱动器	102
4.5.1 锁存器	103
4.5.2 同相三态数据缓冲/驱动器	104
4.5.3 8 总线接收/发送器	105
4.6 存储器概述	105
4.6.1 存储器的分类	106
4.6.2 半导体存储器的分类	106
4.6.3 存储单元和存储单元地址	107
4.6.4 存储器的主要指标	108
4.6.5 存储器的寻址原理	108
4.7 隔离与驱动	109
4.7.1 数字隔离	109
4.7.2 继电器驱动控制	110
4.8 本章小结	111
参考文献	111

习题	112
第 5 章 单片机原理及应用	113
5.1 认识单片机	113
5.1.1 什么是单片机	113
5.1.2 MCS-51 单片机的内部硬件结构及引脚	114
5.1.3 MCS-51 单片机的内部硬件的主要功能	117
5.2 MCS-51 单片机指令系统及汇编语言程序设计	120
5.2.1 MCS-51 单片机指令格式	121
5.2.2 MCS-51 单片机指令系统	123
5.2.3 单片机寻址方式	129
5.2.4 汇编语言程序设计步骤	131
5.3 单片机 C 语言程序设计	133
5.3.1 C 语言与 MCS-51	133
5.3.2 C51 的数据类型	135
5.3.3 C51 的运算符和表达式	135
5.3.4 C51 的程序结构	138
5.3.5 函数	142
5.3.6 程序开发	143
5.3.7 单片机 C51 与汇编语言混合编程	144
5.3.8 PWM 与占空比	145
5.3.9 直流电动机控制例程	146
5.4 数据通信	151
5.4.1 数据通信的概念	151
5.4.2 串行通信	151
5.4.3 并行通信	158
5.4.4 并行 I/O 口的应用举例	160
5.5 中断系统	161
5.6 定时器/计数器	164
5.6.1 定时器/计数器的基本结构	164
5.6.2 定时器/计数器的工作方式	165
5.6.3 定时器/计数器的应用举例	167
5.7 A-D 转换电路和 D-A 转换电路	168
5.7.1 ADC0809 转换芯片	169
5.7.2 ADC0809 应用举例	172
5.7.3 DAC0832 转换芯片	174
5.7.4 DAC0832 应用举例	175
5.8 人机交互接口	177
5.8.1 键盘接口	177
5.8.2 显示	181

5.9 设计与开发工具	183
5.9.1 单片机应用系统的设计方法和步骤	183
5.9.2 Keil C51 开发工具软件	184
5.10 本章小结	184
参考文献	184
习题	185
第 6 章 机电控制系统设计	187
6.1 单轴机器人定位系统实例描述	187
6.2 方案设计	187
6.2.1 丝杠及齿轮选型	187
6.2.2 转速和功率估算	188
6.2.3 运行总时间计算	188
6.2.4 换算到电动机轴的负载惯量的计算	189
6.2.5 负载转矩的计算	189
6.2.6 电动机的初步选定	190
6.2.7 加速转矩的计算	190
6.2.8 瞬时最大转矩、有效转矩的计算	190
6.2.9 电动机参数校验	191
6.2.10 控制器和编码器选型	191
6.3 机电系统设计的影响因素	191
6.3.1 自然环境因素的影响	191
6.3.2 振动因素的影响	192
6.3.3 系统非线性因素的影响	195
6.3.4 电磁因素的影响	196
6.4 本章小结	196
参考文献	197
习题	197
第 7 章 数字信号处理器应用基础	198
7.1 数字信号处理概述	198
7.1.1 数字信号处理	198
7.1.2 数字信号处理过程	199
7.1.3 数字信号处理的实现方式	199
7.1.4 数字信号处理的特点	200
7.2 数字信号处理芯片	201
7.2.1 数字信号处理芯片的主要特点	201
7.2.2 数字信号处理芯片的发展现状与趋势	202
7.3 数字信号处理系统设计	203
7.3.1 设计步骤	203

7.3.2 DSP 芯片的选择	203
7.4 代码设计套件 (CCS) 开发工具	204
7.4.1 代码设计套件概述	204
7.4.2 代码生成工具	205
7.4.3 CCS 集成开发环境	206
7.5 简单应用程序开发实例	210
7.6 TMS320LF2812 DSP 应用实例	212
7.6.1 核心板介绍	212
7.6.2 被控对象分析	212
7.6.3 数字-模拟信号转换模块	213
7.6.4 控制程序的设计与编写	214
7.6.5 控制程序的关键函数	215
7.6.6 积分分离 PID 控制程序	216
7.7 无刷电动机控制电动舵机实例	217
7.7.1 电动舵机总体介绍	217
7.7.2 无刷电动机驱动原理	218
7.7.3 电动舵机控制器实现	219
7.7.4 实时性分析	236
7.8 本章小结	239
参考文献	240
习题	240
第 8 章 ARM 与 FPGA	241
8.1 嵌入式微处理器简介	241
8.2 ARM 介绍	241
8.3 ARM 微处理器系列	242
8.4 ARM 的体系结构	244
8.5 基于 Zynq 的可扩展处理平台开发	245
8.5.1 Zynq-7000 系列的来历	245
8.5.2 Zynq 开发套件 Zedboard 简介	245
8.5.3 基于 Zynq-7000 的开发实例	246
8.5.4 应用程序编写	250
8.5.5 Eclipse 集成开发工具	252
8.6 FPGA 介绍	252
8.6.1 FPGA 结构	252
8.6.2 FPGA 的功能模块	253
8.6.3 FPGA 开发流程	255
8.6.4 FPGA 的常用开发工具	257
8.6.5 FPGA 程序实例	258
8.7 本章小结	266

参考文献	267
习题	267
第9章 机电控制实例	269
9.1 履带式移动机器人	269
9.1.1 功能介绍	269
9.1.2 机器人结构设计	270
9.1.3 履带机器人控制系统设计	271
9.2 麦克纳姆轮全方位移动平台	275
9.2.1 运动分析	275
9.2.2 全方位移动平台设计	278
9.3 物联网嵌入式节点介绍与农田环境监测实例	285
9.3.1 物联网共性架构	285
9.3.2 ZigBee 无线传感网络节点设计	286
9.3.3 农田环境监测自供电无线传感网络设计	289
9.4 本章小结	292
参考文献	292
习题	293
第10章 现场总线技术与应用	294
10.1 现场总线技术简介	294
10.1.1 现场总线技术的发展	294
10.1.2 现场总线的标准和分类	294
10.2 以太网技术	297
10.3 实时以太网技术及其比较	297
10.4 主要实时以太网介绍	298
10.4.1 POWERLINK	298
10.4.2 ProfiNet	298
10.4.3 Ethernet/IP	299
10.4.4 EtherCAT	299
10.4.5 SERCOS III	300
10.5 POWERLINK 和 EtherCAT 的比较	300
10.6 本章小结	301
参考文献	302
习题	303
附录	304
附录 A MCS-51 指令集	304
附录 B MCS-51 系列 SFR 寄存器功能说明	308

绪 论

1.1 背景简介

中国的先进制造业起步较晚，但改革开放以来特别是近几年来发展异常迅速，产业基础越做越大，已经发展成为世界重要的生产制造强国之一。而机电控制技术作为先进制造业的重要研究方向，也成为一门在工业产品设计制造中以机械工程、电气与智能控制为基础的整合性技术。最近几年，随着中国制造成本的提高，欧美制造业也逐渐回流，人们都希望用先进的现代制造技术来节约生产制造成本，创造更多的就业机会，从而推动现代制造业的发展。目前，纯手工的工业产业，境况日趋艰难，而机电结合的产业，特别是机器人、人工智能、3D 打印和纳米技术等产业，发展前景越来越好。

机电控制技术的发展已经不仅仅局限于单台电动机、几台电动机等被控对象，还可能针对几十台，上百台，甚至整个工厂，这就要研究智能工厂和智能生产问题。与此相关的著名战略是德国政府提出的“工业 4.0 (Industry4.0)”，于 2013 年 4 月汉诺威工业博览会上推出，其目的是为了提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中占领先机。该战略已经得到德国科研机构和产业界的广泛认同，弗劳恩霍夫协会将在其下属单位引入工业 4.0 概念，西门子公司已经开始将这一概念引入其工业软件开发和生产控制系统^[1-2]。而且，德国人工智能研究中心还给出了从工业 1.0 到工业 4.0 的发展历程，描绘了人类社会即将开启“信息物理系统”融合的前景（见图 1-1）。

随着机电控制系统的发展，对微处理器的性能要求越来越高，许多半导体芯片厂商在单颗芯片中集成了更多的功能，例如 I/O、驱动、控制算法以及工业以太网模块等。网络化、智能化、模块化和微型化将是未来机电控制系统的必然趋势。

网络化就是要求机电系统能自动地采集和记录系统中各台电机等电气组件的电压、电流、温升和振动等状态变化，并通过网络将数据实时地传送到远程控制中心，以便对设备的运行状态进行监控和故障诊断，使控制人员可访问设备的参数、状态和诊断信息，并可进行参数设置。8 位微型处理器因为价格便宜，性能稳定，故应用范围极为广泛，是目前主要的控制器之一。但未来功能更强的 32 位微型处理器价格也将进一步降低，机电控制系统会越来越多地用到 32 位甚至更高位数的微型处理器。

智能化是机电控制技术与传统机械自动化的主要区别之一，也是 21 世纪机电控制技术的发展方向。近几年来，随着处理器速度和性能的提高，为嵌入式智能控制算法创造了条件，从而有力地推动了机电控制技术产品向智能化方向发展。智能机电控制技术产品可以模拟人类智能，具有某种程度的判断推理、逻辑思维和自主决策能力，因而可取代制造工程中人的部分脑力劳动。

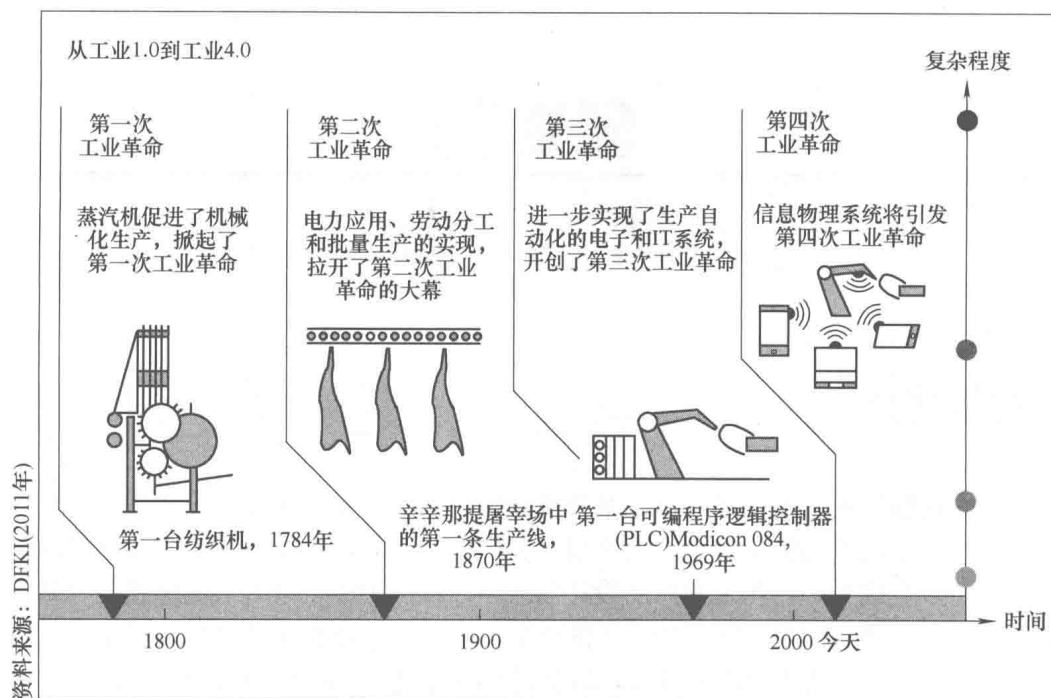


图 1-1 从工业 1.0 到工业 4.0 的发展历程

模块化也是机电控制技术产品的一个发展趋势。由于机电控制技术产品种类繁多，研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、信息接口的机电控制技术产品单元是一项复杂而重要的任务，它需要制订一系列标准，以便实现各部件、单元的匹配和连接。机电控制产品的生产企业可利用模块化标准单元迅速开发出新产品。

微型化的机电系统高度融合了微机械技术、微电子技术和软件技术，是机电控制技术的发展的一个新的发展方向。微机电系统的几何尺寸一般不超过 1cm^3 ，并向微米、纳米级方向发展。由于微机电一体化系统具有体积小、耗能低、运动灵活等特点，可进入一般机械无法进入的空间并易于进行精细操作，故在生物医学、航空航天、信息技术、工农业乃至国防等领域，都有广阔的应用前景。目前，利用半导体器件制造过程中的蚀刻技术，在实验室中已制造出亚微米级的机械元件。

此外，节能环保也是未来机电控制技术需要考虑的重要内容之一。

1.2 什么是机电控制技术

机电控制技术又称机电一体化技术或机械电子学 (Mechatronics)，是将机械学和电子学融合而成的一门新学科。时至今日，这个词有了更为广泛的含义，一般被认为是一种新的工程技术问题的解决思想。这种思想具体表现为在产品的设计制造和加工过程中，将机械工程、电子技术及计算机智能控制有机集成。应用这种思想，很多原本由机械结构实现的产品都可以由包含微控制器的产品替代。从而使生产过程更加灵活，设计和编程更加简单。

机电工程的定义是一个发展中的概念。电子技术和机械技术相互交叉，以计算机技术、通信技术和控制技术为特征的信息技术“融合”到机械技术中，使得“光-机-电”工程、“机-电-气”工程、“机-电-液”工程、“机-电-仪”工程得到了快速发展。

机电一体化系统不是简单地将机械系统和电气系统结合起来，而是在设计过程中遵循统一的设计理论与方法，将机械、电子和控制系统有机地集成在一起。这种集成化的、多学科交叉的方法被广泛应用于各种工程设计领域，诸如汽车设计、机器人制造、机械加工、清洗设备设计、摄像设备设计等。如果需要设计更加廉价，更加可靠，更加灵活的系统，那么在初始设计阶段就要对机械工程、电气工程、电子工程和控制工程等方面的内容进行集成。在处理多学科交叉问题时，机电系统设计使用统筹方法来进行设计，例如在设计机械系统前，要考虑电气部分的安装与功能配合等。

如图 1-2 所示，机电系统设计将多个技术领域融合在一起，它包括机械系统与电气系统，电气系统又包括传感器测量系统、驱动系统和微处理器系统等。

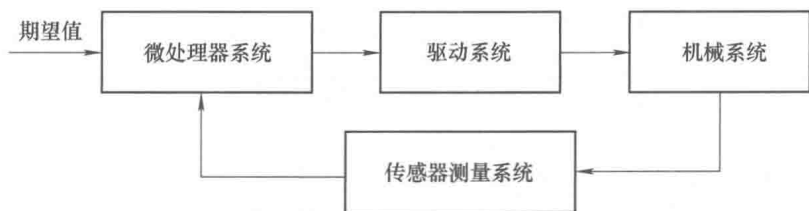


图 1-2 机电控制系统简图

1. 机电系统的简单例子

首先以自动对焦、自动曝光照相机为例，当拍照时，我们只需将它对准要拍摄的物体，按下按钮，照相机本身就可以自动调节焦距，自动调节光圈和快门速度，实现正确曝光。

再以卡车上使用的智能悬挂系统为例。这种悬挂系统可以在搭载不均匀负载时保持车身的平衡；可以在转弯路况较差的情况下，保证驾驶平稳。再以一条自动化冲压生产线为例，这样的生产线可包含很多的上下料生产过程，这些生产过程可按正确的顺序被自动地执行。

可见，自动照相机、智能悬挂系统以及自动化冲压生产线都是机械工程、电气工程及控制工程相互结合的完美实例。其他典型的机电系统还有高铁、数控机床、汽车电子产品、机器人、飞行器、轮船、电梯、智能化仪器仪表、电子排版印刷系统、CAD/CAM 系统等。

2. 嵌入式系统简介

嵌入式系统（Embedded System）是一种完全嵌入器件内部，为特定应用而设计的专用计算机系统，与通用的个人计算机系统不同，嵌入式系统通常执行的是带有特定要求的预先定义的任务。它是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等特定要求的专用计算机系统。

在机电控制技术领域，我们广泛地关注这种系统。微处理器在本质上可以被认为逻辑门和存储单元的集合。但是，这些逻辑门和存储单元并不是分别作为个体由导线相互连接而成的。微控制器主要通过软件的编写来实现不同的逻辑功能。有些嵌入式系统还包含 Linux、WinCE 等操作系统，用户基于该系统编写并运行不同的应用程序来实现整个逻辑的控制。

对应用于控制系统的微处理器，它需要额外的芯片来提供存储数据的空间及与外界交换信号的接口。微控制器就是一种将微处理器功能及上述额外芯片功能集成在一起的器件。

1.3 机电系统设计流程

如图 1-3 所示, 任何系统的设计流程都可以分为以下几个阶段:

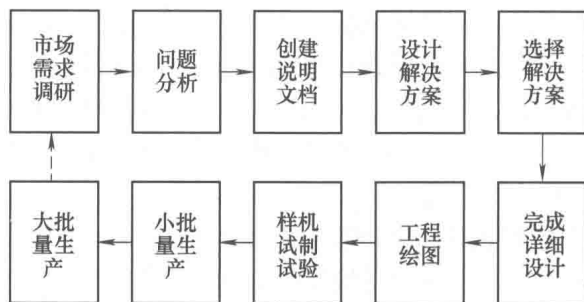


图 1-3 设计流程图

(1) 市场需求调研 在设计开始前, 要通过对潜在客户的市场调查来分析消费者或者客户的需求。

(2) 问题分析 设计的第一个阶段是要通过分析找出问题的本质, 这是一个十分重要的阶段, 因为如果问题没有被分析透彻的话, 那么设计将变得非常耗时且难以满足需求。

(3) 创建说明文档 在对问题进行分析后, 就可以开始创建说明文档了。准备工作包括问题的陈述, 介绍选择解决方法时要考虑的约束条件以及判定设计质量的标准。在陈述问题时, 所有在设计中需要实现的功能及系统特性都要准确地描述出来。因此, 指标说明文档一般包含质量、尺寸、所需动作的类型及范围、准确度、输入输出要求、接口、电源要求、工作环境、相关标准及测试代码等。

(4) 形成可能的总体设计解决方案 这一阶段是一个概念性设计阶段。为了得到解决问题的方法, 要分析系统必需的功能, 并给出足够多的实现这些功能的细节条件, 诸如尺寸、形状、材料及花费等。同时, 我们也要找出之前类似问题的解决方法作为参考设计。

(5) 选择合适的解决方案 评估所有可能的解决方案, 并选出最优的解决方案。评估通常是指对系统进行建模, 通过仿真模拟系统对输入的响应。

(6) 完成详细设计 在这一阶段, 将完成所选方案的所有细节设计。为了实现设计的优化, 有时需要生产原型机或者模型来进行试验。

(7) 工程绘图 在设计方案被选定后, 就要进行电气原理图、印制电路板 (PCB)、电气接线图、程序流程图等工程图样的设计。

(8) 样机试制和试验 完成产品的详细设计后, 进入样机试制与试验阶段。根据制造的成本和性能试验的要求, 一般可制造几台样机供试验使用。样机的试验分为实验室试验和实际工况试验, 通过试验考核样机的各种性能指标是否满足设计要求, 考核样机的可靠性。如果样机的性能指标和可靠性不能满足设计要求, 则要修改设计, 重新制造样机, 重新试验。如果样机的性能指标和可靠性满足设计要求, 则进入产品的小批量生产阶段。

(9) 小批量生产 产品的小批量生产阶段实际上是产品的试生产、试销售阶段。这一阶段的主要任务是跟踪调查产品在市场上的情况, 收集用户意见, 发现产品在设计 and 制造方面存在的问题, 并反馈给设计、制造和质量控制部门。

(10) 大批量生产 经过小批量试生产和试销售的考核,排除产品设计和制造中存在的各种问题后,即可投入大批量生产。

设计过程的各个阶段并不是简单地按照先后顺序一个一个地执行。设计者经常需要回到前面的阶段进行更深入的思考。当我们处在生成可能的解决方案阶段时,就经常需要回到之前的问题分析阶段进行重新思考。

另外,快速控制原型(Rapid Controller Prototyping, RCP)和硬件在环实时仿真(Hardware-in-Loop, HIL)是目前国际上机电控制系统设计的常用方法,它把计算机仿真和实时控制有机结合起来,用户可把仿真结果直接用于实时控制,极大提高控制系统的设计效率。

1.4 机电系统设计举例

机电控制系统有两种基本形式,一种称为开环(Open Loop)控制系统,另一种被称为闭环(Closed Loop)控制系统。

图 1-4 给出了丝杆滑块电动伺服系统的双闭环的一个例子。电动伺服系统作为一种自动控制系统,它的输出变量通常是位置或者速度,其任务是实现执行机构对给定外部指令的准确跟踪,即实现输出变量能够自动、连续、精确地复现输入指令信号的变化规律。由控制器、驱动器、伺服电动机、减速器、编码器、检测与反馈单元、机械传动机构及执行部件等组成。

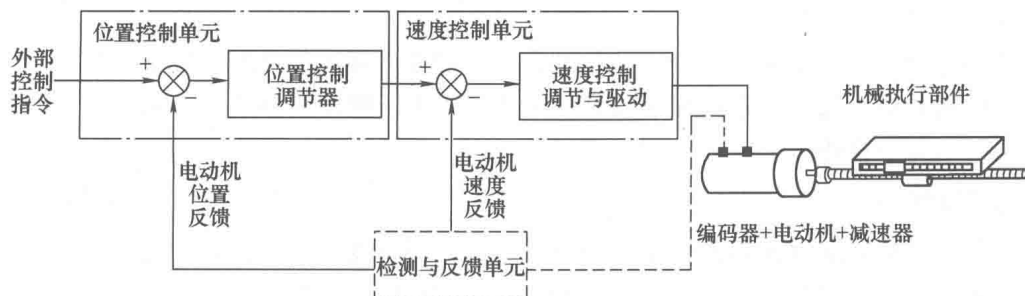


图 1-4 电动伺服系统的双闭环框图

对于图 1-4 的闭环控制系统,外部控制指令对应一个特定的目标轴位置,这一位置通过与反馈位置比较,再经过位置调节器运算,作为速度控制单元的输入,与速度反馈比较后,经过速度调节器的运算,控制电动机驱动器,电动机驱动器驱动电动机旋转。因此,在闭环控制系统中,当我们修改输入命令时,通过调节器的运算(例如 PID)可使输出调节到期望的值。

开环系统的好处是相对简单,因此成本低,一般有较高的可靠性,但因为没有校正误差,往往不够精确。闭环控制系统的特点是精度较高,但系统的结构较复杂、成本较高,还需要建立系统的稳定性模型。

1.5 机电系统所涵盖的技术

1. 传感器检测技术

研究如何将各种被测量(物理量、化学量、生物量等)转化为与之成比例的电信号,然

后对转化后的电信号进行处理,如放大、补偿、标度变换等。

2. 自动控制技术

自动控制是在无人干预的情况下,能自动地驱动机器达到控制目标的技术。没有传感器反馈的控制称为开环控制;反之,则称为闭环控制,例如PID控制、模糊控制、自适应控制、神经网络控制、智能控制等。相关的控制器有:计算机、可编程序控制器、单片机等;相关的软件有:MATLAB、C、C++、Basic等。

3. 驱动技术

研究对象包括:执行元件及其驱动装置等。具体的执行元件种类包括:电动元件、液动元件、气动元件等。

4. 现代机械技术

可实现机电产品的主要性能和功能,影响系统的构型、重量、体积、刚性和可靠性等,与机电产品的精密化、标准化和模块化直接相关。

5. 先进制造技术

先进制造技术是指通过微电子技术、自动化技术、信息技术等先进技术给传统制造带来种种变化的技术。具体地说,就是指集机械工程技术、电子技术、自动化技术、信息技术、材料技术等多种技术为一体所产生的技术、设备和系统的总称。

6. 自适应技术

自适应技术是一种面向未来的智能化技术,它能在产品的经济性、安全性和舒适性方面获得最优化的同时,减少或消除振荡以及不希望的噪声。应用自适应技术的产品和方法能够获得决定性的竞争优势。

7. 运动控制

运动控制(Motion Control, MC)是自动化的一个分支,它使用统称为伺服装置的一些设备,如液压泵、线性执行器或者伺服电动机来控制机器的位置、速度或加速度。运动控制在机器人和数控机床领域的应用更为复杂。

1.6 本书目的

“机电控制技术导论”全面系统地介绍了机电控制的基本器件,包括低压电器、可编程序控制器、单片机、数字信号处理器、嵌入式控制器(组成、原理及应用),并在此基础上阐述了总线技术和机电系统的总体设计方法,是适用于机械工程、机械设计制造及其自动化、能源与动力工程、核工程类和航空航天类等相关专业本科生、研究生的教学参考书。

通过本书的学习,可培养相关专业本科生、研究生掌握机电控制技术的基本概念和原理、基本器件和机电控制设计方法,培养完整的机电控制系统的设计能力。本书不仅能为学生提供必要的基础理论知识,也可培养学生利用专业技能分析解决问题的能力,为今后从事工程技术工作、科学研究以及开拓新技术领域,打下坚实的基础。

本书主要包括机电控制技术的基本知识、继电器接触器控制、单片机技术、可编程序控制器、数字信号处理器、嵌入式控制器以及总线技术等,以及实现机电系统控制的基本方法、